

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № 2889/б./н.



ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0531-01 Химия

6-05-0531-02 Химия лекарственных соединений

6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность)

7-07-0531-01 Фундаментальная химия

7-07-0531-02 Химия высоких энергий

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0531-01-2023 и учебных планов БГУ № 6-5.5-41/01, № 6-5.5-41/02, № 6-5.5-41/03 от 15.05.2023; ОСВО 6-05-0531-02-2023 и учебных планов БГУ № 6-5.5-42/01, № 6-5.5-42/02 от 15.05.2023; ОСВО 6-05-0531-04-2023 и учебного плана БГУ № 6-5.5-43/01 от 15.05.2023; ОСВО 7-07-0531-01-2023 и учебного плана БГУ № 7-5.5-68/01 от 15.05.2023; ОСВО 7-07-0531-02-2023 и учебного плана БГУ № 7-5.5-69/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Д.В.Свиридов, заведующий кафедрой неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.И.Кулак, директор Института общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой неорганической химии БГУ
(протокол № 10 от 06.06.2025)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



Д.В.Свиридов

Т.В.Ковальчук-Рабитская 

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – обеспечить понимание студентами принципиальных основ и практических возможностей физических методов исследования, присущих им ограничений, познакомить с аппаратным оформлением и условиями проведения исследований, развить навыки интерпретации и грамотной оценки получаемых экспериментальных данных.

Задачи учебной дисциплины:

1. Познакомить студентов с основами важнейших физических методов, используемых в химии.
2. Очертить перед студентами круг актуальных задач, решаемых с использованием физических методов исследования.
3. Показать место исследований, проводимых с использованием физических методов исследования для решения конкретных практико-ориентированных химических задач.

Место учебной дисциплины В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина «Физические методы исследования» для специальности 6-05-0531-01 Химия, относится к модулю «Строение вещества и методы его исследования», 6-05-0531-02 Химия лекарственных соединений и 6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность) относится к модулю «Строение и исследование вещества» компонента учреждения образования.

Учебная дисциплина «Физические методы исследования» для специальностей 7-07-0531-01 Фундаментальная химия, 7-07-0531-02 Химия высоких энергий относится к модулю «Методы исследования структуры вещества» компонента учреждения образования.

Данная дисциплина призвана сформировать у студентов целостную картину об основных принципах важнейших экспериментальных методов, используемых для решения химических задач и традиционно относящихся к физическим методам исследования, то есть базирующихся на изучении характера взаимодействия электромагнитного либо корпускулярного зондирующего излучения с веществом.

Учебная дисциплина «Физические методы исследования» базируется на материале, представленном в курсах «Неорганическая химия», «Кристаллохимия» и использует в качестве теоретической основы содержание курсов математики, физики, изучавшихся студентами на протяжении многих семестров, и позволяет установить необходимые рекурсивные взаимосвязи с проблематикой базовых химических дисциплин.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Физические методы исследования» должно обеспечить формирование следующих *специализированных компетенций*:

Оценивать возможности и ограничения масс-спектрометрических, магнето-химических и электрооптических методов, методов электронной,

колебательной и вращательной спектроскопии для исследования химических соединений, проблемы получения, регистрации и интерпретации спектров.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основы важнейших физических методов, используемых в химии;
- характер научных задач, решаемых с использованием физических методов исследования;
- характер данных, получаемых с помощью физических методов исследования;
- основные требования, предъявляемые к образцам;
- основные подходы к интерпретации полученных данных и основные ограничения физических методов исследования;

уметь:

- делать сознательный выбор оптимальных методов для решения конкретных химических задач;
- правильно интерпретировать данные измерений, выполненных с использованием физических методов исследования;
- делать заключения о составе образца и характере происходящих в нем химических превращений на основании анализа и сопоставления всей совокупности имеющихся данных;

иметь навык: основных компетенций, присущих современному химику-исследователю.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Физические методы исследования» отведено для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 68 аудиторных часов: лекции – 46 часов, семинарские занятия – 22 часа.

Из них:

Лекции – 46 часов, лабораторные занятия – 8 часов, лабораторные занятия (ДОТ) – 8 часов, семинарские занятия (ДОТ) – 4 часа, управляемая самостоятельная работа (ДОТ) – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение

Тема 1.1. Классификация методов

Общая характеристика двух основных групп физических методов исследования: методов исследования поверхности и молекулярно-спектроскопических методов.

Раздел 2. Методы исследования поверхности

Тема 2.1. Вторично-ионная масс-спектрометрия

Теоретические основы взаимодействия ионного пучка с твердым телом. Механизмы ядерного и электронного торможения. Каскадный механизм распыления. Выходы распыления и ионизации. Явления нейтрализации вторичных ионов за счет резонансного туннелирования и влияние хемосорбции кислорода на выход вторичных ионов. Принципы метода ВИМС. Устройство оборудования для масс-спектрометрии вторичных ионов. Основные факторы, определяющие структуру спектра вторичных ионов (изотопный состав мишени, образование кластеров и многозарядных ионов, образование оксо-комплексов и гидридов). Масс-спектрометрия вторичных нейтральных частиц. Избирательное распыление элементов и анализ их распределения по глубине. Изменение состава многокомпонентной мишени в процессе распыления. Уширение концентрационных профилей в области внутренних границ раздела вследствие ионного перемешивания.

Тема 2.2. Обратное резерфордовское рассеяние

Особенности потери энергии легкими высокоэнергетическими ионами в твердых телах. Основные кинематические соотношения. Правило Брэгга. Принципы метода обратного резерфордовского рассеяния. Форма спектра обратного резерфордовского рассеяния и особенности его структуры в случае многослойных мишеней. Связь между шкалой энергий и шкалой глубин. Реконструкция глубинного профиля распределения рассеивающих атомов. Влияние флуктуаций потерь энергии ("страгглинга") на разрешение по глубине. Принципы определения поверхностного состава массивных мишеней и тонких поверхностных пленок.

Тема 2.3. Методы ядерных реакций

Временная шкала спонтанных и индуцированных ядерных процессов. Механизм распада составного ядра. Активационные и мгновеннорadiационные методы ядерного анализа. Использование явлений резонансного возбуждения ядерных реакций и реакций, возбуждаемых тепловыми нейтронами, для реконструкции глубинных профилей распределения примесей.

Тема 2.4. Оже-электронная спектроскопия

Энергетический спектр электронов, рассеянных поверхностью твердого тела. Природа Оже-переходов и их классификация. Переходы Костера-Кронига.

Соотношение выходов Оже-электронов и рентгеновской флюоресценции. Химические сдвиги в Оже-электронном спектре. Принципы метода Оже-электронной спектроскопии. Устройство спектрометра. Особенности анализа Оже-электронного спектра. Влияние эффектов адсорбции, формирования поверхностных пленок и особенностей морфологии поверхности на пара метры Оже-электронного спектра. Примеры использования Оже-спектроскопии для анализа поверхности твердого тела. Получение профилей глубинного изменения концентрации с помощью Оже-спектроскопии. Возможности количественного анализа.

Тема 2.5. Электронный микрозонд

Механизм возникновения характеристического рентгеновского излучения при зондировании поверхности твердого тела потоком электронов. Правила отбора для излучательных рентгеновских переходов. Варианты реализации электронно-зондового микроанализа: спектроскопия с дисперсией по энергии на основе барьерного детектора и спектроскопия с дисперсией по длине волны с использованием дифракционного кристаллического анализатора. Глубина выхода рентгеновского излучения. Тормозное излучение как фактор, определяющий предельную чувствительность электронного микрозонда. Влияние эффектов рассеяния электронов и вторичной рентгенофлуоресценции на пространственное разрешение метода электронного микрозонда.

Тема 2.6. Рентгенофотоэлектронная спектроскопия

Принципы метода. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Энергетический спектр фотоэлектронов и основные элементы его структуры. Устройство спектрометра: источники излучения, рентгеновские монохроматоры, цилиндрический зеркальный анализатор и анализатор отклоняющего типа. Сдвиги энергии связи внутренних электронов в зависимости от химического окружения центрального атома и их аналитическое значение. Таблицы энергий связи. Природа сателлитов в фотоэлектронном спектре. Влияние эффектов зарядки на фотоэлектронный спектр. Сечение фотоэффекта и количественный анализ с использованием метода РФЭС.

Тема 2.7. Рентгенофотоэлектронная спектроскопия: примеры применения

Примеры применения рентгенофотоэлектронной спектроскопии в гетерогенном катализе, исследовании коррозионных процессов и радиационных превращений органических полимеров.

Тема 2.8. EXAFS

Природа растянутой тонкой структуры рентгеновского поглощения вблизи высокоэнергетического края К-полосы поглощения и содержащаяся в ней структурная информация. Реконструкция функции радиального распределения для ближайших координационных сфер с использованием Фурье-преобразования EXAFS-спектра по волновому вектору. Примеры использования EXAFS-спектроскопии.

Тема 2.9. Сопоставление возможностей методов исследования поверхности

Сравнительный анализ аналитических возможностей основных методов исследования поверхности (чувствительность, разрешение по глубине, поверхностная селективность, наличие химических сдвигов).

Раздел 3. Методы исследования морфологии поверхности

Тема 3.1. Сканирующая туннельная микроскопия

Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа. Требования к туннельному зонду. Топографический режим и сканирующая туннельная спектроскопия. Абсолютная калибровка масштабов трехмерного СТМ-изображения. Особенности СТМ-исследования модельных углеродных поверхностей, поверхности металлов, металлических кластеров и малых частиц, процессов адсорбции. СТМ-исследование реальных поверхностей в контакте с водными растворами, сканирующая туннельная микроскопия адатомных слоев и начальных стадий электроосаждения металлов.

Тема 3.2. Атомно-силовая микроскопия

Атомно-силовая микроскопия: устройство микроскопов, требования к образцу. Фрикционные измерения. проявления атомно-силовых явлений в СТМ. Микроскопия ближней зоны.

Раздел 4. Масс-спектрометрический анализ

Тема 4.1. Масс-спектрометрия органических соединений

Устройство масс-спектрометра (системы напуска, ионизации, ускорения и магнитной сепарации). Времяпролетный масс-спектрометр. Разрешающая сила масс-спектрометров. Основные факторы, влияющие на формирование масс-спектра (потенциалы появления, характер фрагментации, сопровождающие фрагментацию перегруппировки, возможность выделения стабильных молекул, изотопный состав исходной молекулы). Применение масс-спектрометрии. Идентификация веществ. Изучение механизма реакций с использованием масс-спектрометрии. Изучение состава паров над твердым веществом, определение теплот сублимации. Хромато-масс-спектрометры.

Раздел 5. Колебательная спектроскопия

Тема 5.1. ИК-спектроскопия, общие принципы

Особенности поглощения ИК-излучения. Модель гармонического осциллятора. Характеристические частоты. Нормальные координаты и нормальные колебания. Общее число колебаний в случае многоатомных молекул. Валентные и деформационные колебания. Колебания в молекуле воды. Валентные и деформационные колебания в случае метильной и метиленовой групп. Связь между ИК-спектром и строением молекул. Концепция групповых колебаний. Основные области, выделяемые в экспериментальных ИК-спектрах

(область функциональных групп, область "отпечатка пальцев"), обертоны. Положение, форма и интенсивность инфракрасных полос поглощения.

Тема 5.2. ИК-спектроскопия органических соединений

Таблицы частот и корреляционные диаграммы. ИК-спектры предельных углеводородов, сопряженных углеводородов, ароматических углеводородов, гидроксилсодержащих соединений, соединений, содержащих карбоксильную группу. Влияние взаимодействия между различными функциональными группами на положение линий в ИК спектре. Влияние растворителя. ИК-спектроскопия неорганических соединений: двухатомные, трехатомные линейные, трехатомные изогнутые и четырехатомные пирамидальные молекулы. Методы подготовки образцов (суспензии, пленки, спрессованные таблетки, пиролизированные полимеры, растворы). Особенности количественных спектрофотометрических измерений в ИК-диапазоне. Метод НПВО.

Тема 5.3. Спектроскопия комбинационного рассеяния

Рассеяние света и эффект комбинационного рассеяния, правила отбора. Основные принципы КР-спектроскопии. Сравнение методов КР- и ИК-спектроскопии. Устройство спектрометра комбинационного рассеяния. Требования к образцам. КР-микросонд

Раздел 6. Резонансные методы исследования

Тема 6.1. Спектроскопия ЯМР: общие принципы

Собственный спин ядер. Изотопы, для ядер которых характерно наличие собственного магнитного момента. Расщепление уровней энергии ядер в магнитном поле. Ядерный магнитный резонанс. Устройство спектрометра ЯМР. Химические сдвиги в спектре ЯМР и их использование для идентификации химических групп. Шкалы химических сдвигов. Степень экранирования протонов в ароматических кольцах, в алкильных радикалах (в том числе, в контакте с электроноакцепторными и ароматическими группами и непредельными связями), в гидроксильных группах. Эталоны в спектроскопии ЯМР. Влияние спин-спинового взаимодействия на тонкую структуру спектра ЯМР. Число компонент мультиплетов, распределение интенсивности, правило сумм. ЯМР спектры первого и второго порядков. Влияние анизотропии магнитного поля в пределах сложных органических молекул на величину химического сдвига. Заселенность энергетических состояний, взаимосвязь между временами релаксации и шириной линий в спектре ЯМР. Влияние условий съемки на спектр ЯМР.

Тема 6.2. Использование ЯМР спектроскопии для решения химических задач

Общие принципы расшифровки спектров ЯМР при проведении структурного анализа. ЯМР на ^{13}C и других ядрах. Исследование структуры комплексных соединений методом ЯМР. Применение ЯМР для изучения реакций перераспределения лигандов и ступенчатого комплексообразования. Исследование соединений благородных газов методом ЯМР. Изучение быстро протекающих процессов (протонный обмен, таутомерия) методом ЯМР.

Тема 6.3. Спектроскопия ЭПР: общие принципы

Объекты, исследуемые методом ЭПР. Принципы метода ЭПР, g -фактор. Устройство спектрометра ЭПР. Требования к пробам. Эталоны в спектроскопии ЭПР. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним или несколькими ядрами. Число компонент мультиплета, распределение интенсивности. Форма линий ЭПР. Спин-решеточная и спин-спиновая релаксации. Зависимость времени релаксации от быстроты молекулярного движения. Уширение линий в спектре ЭПР.

Тема 6.4. Использование ЭПР спектроскопии для решения химических задач

ЭПР спектры парамагнитных ионов. Примеры использования метода ЭПР: определение свободных радикалов и других парамагнитных центров, спиновые метки.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение							
1.1.	Классификация методов	2						
2	Методы исследования поверхности							
2.1.	Вторично-ионная масс-спектрометрия	2			4			контрольная работа
2.2.	Обратное резерфордовское рассеяние	2						
2.3.	Методы ядерных реакций	2						
2.4.	Оже-электронная спектроскопия	2						
2.5.	Электронный микрозонд	2			4 (ДОТ)			
2.6.	Рентгенофотоэлектронная спектроскопия	2						
2.7.	Рентгенофотоэлектронная спектроскопия: примеры применения	2						
2.8.	EXAFS	2						

2.9.	Сопоставление возможностей методов исследования поверхности	2		4 (ДОТ)				
3.	Методы исследования морфологии поверхности							
3.1.	Сканирующая туннельная микроскопия	2						Коллоквиум контрольная работа
3.2.	Атомно-силовая микроскопия	2						
4.	Масс-спектрометрический анализ							
4.1.	Масс-спектрометрия органических соединений	4			4			Тест Реферат
5.	Колебательная спектроскопия							
5.1.	ИК-спектроскопия, общие принципы	2			4 (ДОТ)			контрольная работа
5.2.	ИК-спектроскопия органических соединений	4						
5.3.	Спектроскопия комбинационного рассеяния	2						
6.	Резонансные методы исследования							
6.1.	Спектроскопия ЯМР: общие принципы	4						
6.2.	Использование ЯМР спектроскопии для решения химических задач	2					1	Контрольная работа

6.3.	Спектроскопия ЭПР: общие принципы	2						
6.4.	Использование ЭПР спектроскопии для решения химических задач	2					1	контрольная работа

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Ельяшевич, М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия: общие вопросы спектроскопии / М.А. Ельяшевич – М.: URSS, ЛИБРОКОМ, 2020. – 236 с.
2. Электронная феноменологическая спектроскопия и её применение в исследовании сложных молекулярных систем в химии, технологии, физике и медицине / [М. Ю. Долوماتов и др.]; под науч. ред. М. Ю. Доломатова; Казань: Инновационно-издательский дом "Бутлеровское наследие", 2024. – 307 с.
3. Рябухин, Ю.И. Электронная абсорбционная спектроскопия в органической химии : учебное пособие / Ю.И. Рябухин. – Изд. 2-е. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2024. – 281 с.
4. Аббасов, М.Г. Применение инфракрасной спектроскопии к органическим и неорганическим соединениям: учебник / М.Г. Аббасов. – Москва: Русайнс, 2024. – 465 с. – URL: <https://book.ru/book/951104>.
5. Звеков, А.А. Физические методы исследования: учебное пособие / А.А. Звеков, К.А. Корчуганова, Н.Н. Ильякова. – Кемерово: КемГУ, 2022. – 173 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/309092>.

Дополнительная литература

1. Лебедев, А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии / А.Т. Лебедев. – М.: Техносфера, 2015. – 704 с.
2. Шабанов, Н.И. Основы научных исследований: учебное пособие / Н.И. Шабанов, И.Э. Липкович, И.В. Орищенко. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 85 с.
3. Ишханов, Б.С. Частицы и атомные ядра: Учебник / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2017. – 584 с.
4. Ярышев, Н.Г., Физические методы исследования и их практическое применение в химическом анализе: Учебное пособие / Н.Г. Ярышев, Ю.Н. Медведев, М.И. Токарев, А.В. Бурихина, Н.Н. Камкин – М.: Прометей, 2015. – 196 с.
5. Луков, В.В. Физические методы исследования в химии: учебное пособие / В.В. Луков, И.Н. Щербаков – Ростов-на-дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 216 с.
6. Устынюк, Ю.А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Часть 1 (вводный курс) / Ю.А. Устынюк – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 288 с.
7. Драго, Р. Физические методы в химии / Р. Драго. в 2 т. – М: Мир, 1981. – 431с.
8. Вилков, Л.В., Физические методы исследования в химии. Структурные методы и оптическая спектроскопия / Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. – М.: Высш. школа, 1987. – 366 с.

9. Наканиси, К. Инфракрасные спектры и строение органических молекул / К. Наканиси. – М.: Мир, 1965. – 216 с.
10. Беллами, Л. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Беллами. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 590 с.
11. Прикладная инфракрасная спектроскопия / под ред. Д.Кендалла. – М.: Мир, 1970. – 376 с.
12. Грассели, Дж. Применение спектроскопии КР в химии / Дж. Грассели, М. Снеивили, Б. Балкин. – М.: Мир, 1984. – 216 с.
13. Свердлова, О.В. Электронные спектры в органической химии / О.В. Свердлова. – Л.: Химия, 1985. – 248 с.
14. Бенуэлл, К. Основы молекулярной спектроскопии / К. Бенуэлл. – М.: Мир, 1985. – 364 с.
15. Вилков, Л.В. Физические методы исследования в химии. Резонансные и электрооптические методы / Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. – М.: Высшая школа, 1989. – 288 с.
16. Гюнтер, Ю.Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР / Ю.Х. Гюнтер. – М.: Мир, 1984. – 478 с.
17. Зенкевич, И.Г. Интерпретация масс-спектров органических соединений / И.Г. Зенкевич, Б.В. Иоффе. – Л.: Химия, 1986. – 174 с.
18. Будзикович, Г. Интерпретация масс-спектров органических соединений / Г. Будзикович, К. Джерасси, Д. Уильяме. – М.: Мир, 1966. – 323 с.
19. Иоффе, Б.В. Физические методы определения строения органических молекул / Б.В. Иоффе, Р.Р. Костиков, В.В. Разин. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1976. – 344 с.
20. Методы анализа поверхностей / под ред. А. Зандерны. – М.: Мир, 1979. – 344 с.
21. Фелдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок / Л. Фелдман, Д. Майер. – М.: Мир, 1989. – 344 с.
22. Карлсон, Л. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия / Л. Карлсон. – Л.: Машиностроение, 1981. – 431 с.
23. Моррисон, С. Химическая физика поверхности твердого тела / С. Моррисон. – М.: Мир, 1980. – 487 с.
24. Анализ поверхности методами. Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / под ред. Д. Бриггса и М.П. Сиха. – М.: Мир, 1987. – 600 с.
25. Нефедов, В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений / В.И. Нефедов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
26. Черепин, В.Т. Методы и приборы для анализа поверхности материалов / В.Т. Черепин, М.А. Васильев. – Киев: Навукова думка, 1982. – 399 с.
27. Комаров, Ф.Ф. Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками / Ф.Ф. Комаров, М.А. Кумахов, И.С. Ташлыков. – М.: Университетское, 1987. – 256 с.
28. Рентгеноспектральный метод изучения структуры аморфных тел // под

ред. Г.М. Жидомирова. – Новосибирск: Наука, 1987. – 346 с.

29. Ворончихина, Л.И. Задачи и упражнения по ЯМР-спектроскопии: учебное пособие / Л.И. Ворончихина. – Тверь: ТвГУ, 2024. – 129 с. <https://e.lanbook.com/book/461774>.

30. Хорт, А.М. Изучение электрофизических свойств материалов: учебно-методическое пособие / А.М. Хорт. – Москва: РТУ МИРЭА, 2024. – 48 с. <https://e.lanbook.com/book/448979>.

31. Калугина, Е.В. Инструментальные методы исследования полимерных композиционных материалов: учебно-методическое пособие / Е.В. Калугина, А.Н. Ковалева. – Москва: РТУ МИРЭА, 2024. – 73 с. <https://e.lanbook.com/book/448982>.

32. Крылов, А.В. Теория и практика применения ИК-спектроскопии: учебное пособие / А.В. Крылов, Р.С. Шамсиев. – М.: РТУ МИРЭА, 2024. – 83 с. <https://e.lanbook.com/book/448895>.

33. Звеков, А.А. Физические методы исследования. ИК-спектроскопия для решения практических задач: учебное пособие / А.А. Звеков, К.А. Корчуганова, Н.Н. Ильякова. – Кемерово: КемГУ, 2024. – 104 с. <https://e.lanbook.com/book/407738>.

34. Иванов, И.В. Инструментальные методы исследования в химической технологии биологически активных веществ: методические рекомендации / И.В. Иванов, В.М. Липенский, М.А. Маслов. – Москва: РТУ МИРЭА, 2023. – 38 с. <https://e.lanbook.com/book/398375>.

35. Дураков, С.А. Современные методы исследования в химии: учебное пособие / С.А. Дураков. – Москва: РТУ МИРЭА, 2023 – 157 с. <https://e.lanbook.com/book/368855>.

36. Шипилов, Д.А. Экспериментальные методы в химии: учебное пособие / Д.А. Шипилов, Н.В. Кутяшева, Г.И. Курочкина. – Москва: МПГУ, 2023. – 40 с. <https://e.lanbook.com/book/339098>.

37. Шипилов, Д.А. Экспериментальные методы в химии: учебное пособие / Д.А. Шипилов, Н.В. Кутяшева, Г.И. Курочкина. – Москва: МПГУ, 2023. – 40 с. <https://e.lanbook.com/book/339098>.

38. Руснак, И.Н. Методы исследования каталитических процессов. Практикум : учебное пособие / И.Н. Руснак, С.А. Прохоров, И.В. Ошанина. – М.: РТУ МИРЭА, 2022. – 58 с. <https://e.lanbook.com/book/265607>.

39. Ищенко, А.А. Методы анализа поверхности: учебное пособие / А.А. Ищенко, М.А. Лазов. – М.: РТУ МИРЭА, 2022 – 58 с. <https://e.lanbook.com/book/256766>.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущей и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущей аттестации: контрольная работа; коллоквиум; реферат, тест.

Отметка за контрольную работу формируется, исходя из количества верных ответов.

Оценка на коллоквиуме формируется с учётом правильности ответов на вопросы, широты и глубины владения студентом теоретическим материалом, используемым при ответе, также учитывается полнота ответа, наличие примеров из практики химического эксперимента.

При оценивании реферата обращается внимание на: содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, литературные источники и их интерпретацию, корректность оформления, а также на наличие конкретных примеров использования физических методов исследования в практике химического эксперимента.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Физические методы исследования» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

ответы на семинарских занятиях – 10 %;

выполнение контрольных работ, тестов – 70 %.

письменный отчёт по заданиям (коллоквиум, реферат) – 20 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) 30 % и экзаменационной отметки 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 6.2. Использование ЯМР спектроскопии для решения химических задач

Задание 1. Собрать информацию из литературных источников, находящихся в открытом доступе, по особенностям использования ЯМР для решения прикладных химических задач.

(Форма контроля – контрольная работа).

Тема 6.4. Использование ЭПР спектроскопии для решения химических задач

Задание 1. Составить обзор научной литературы по основным принципам проведения химического исследования с помощью спектроскопии ЭПР.

Задание 2. Составить аналитический отчет (обзор) научной литературы по основным принципам проведения научных исследований с применением ЭПР спектроскопии.

(Форма контроля – контрольная работа).

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар № 1. «Обратное резерфордовское рассеяние. Рентгенофотоэлектронная спектроскопия».

Семинар № 2. «ИК-спектроскопия, общие принципы. Использование ЯМР спектроскопии для решения химических задач».

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практически-важных задач;

- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов;

- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Помимо этого, при организации образовательного процесса используются методы и приемы развития критического мышления, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

В процессе организации самостоятельной работы студентов на аудиторных занятиях используются как традиционные (аннотирование, доклады, работа с тестами, выполнение заданий с консультациями преподавателя), так и инновационные (работа в группах, подготовка проектов, деловые игры, анализ реальных экспериментальных данных, выполнение эвристических заданий и др.) формы и методы работы. Задания УСР по учебной дисциплине составляются с учетом индивидуальной подготовки студентов и могут быть представлены на разном уровне: от заданий, формирующих знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания, к заданиям, формирующим компетенции на уровне воспроизведения, и далее к заданиям, формирующим компетенции на уровне применения полученных знаний.

Внеаудиторная работа предполагает самостоятельную работу с учебными пособиями, материалами научных публикаций по изучаемым темам учебной дисциплины, а также подготовку к семинарским и лабораторным занятиям и

выполнение домашних заданий. Учебно-программные материалы, примеры выполнения заданий, материалы для самостоятельного освоения учебного материала, список рекомендуемой литературы размещены в сетевом доступе на образовательном портале *educhem.bsu.by*. При выполнении ряда заданий требуется также осуществлять поиск и критический анализ информации в сети Интернет.

Также студенту предоставляется возможность подготовить реферат по одной из предложенных тем учебной дисциплины. Реферат должен состоять из следующих структурных частей: титульного листа, введения, основной части, заключения и списка использованной литературы. Ссылки на литературные источники являются обязательными; допускается использование информации из электронных баз данных и сети Интернет. Приветствуется использование информации из оригинальных статей в рецензируемых научных изданиях. Объем реферата – не более 10 страниц формата А4.

Примерные темы рефератов

1. Сопоставление методов *in situ* и *ex situ* по чувствительности и разрешающей способности.
2. Времяпролетный масс-спектрометр.
3. Разрешающая сила современных масс-спектрометров.
4. Изучение механизма реакций с использованием масс-спектрометрии.
5. Основные факторы, влияющие на формирование масс-спектра.
6. Концепция групповых колебаний и ее роль в формировании колебательной спектроскопии.
7. Влияние взаимодействия между различными функциональными группами на положение линий в ИК спектре.
8. Особенности количественных спектрофотометрических измерений в ИК-диапазоне.
9. Рассеяние света и эффект комбинационного рассеяния.
10. Сравнение методов КР- и ИК-спектроскопии.
11. КР-микронзонд.
12. Расщепление уровней энергии ядер в магнитном поле.
13. Устройство спектрометра ЯМР.
14. Влияние спин-спинового взаимодействия на тонкую структуру спектра ЯМР.
15. ЯМР спектры первого и второго порядков.
16. Общие принципы расшифровки спектров ЯМР при проведении структурного анализа. ЯМР на ^{13}C и других ядрах.
17. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним или несколькими ядрами.
18. ЭПР спектры парамагнитных ионов.
19. Примеры использования метода ЭПР: определение свободных радикалов и других парамагнитных центров, спиновые метки.

20. Устройство спектрометра для получения мессбауэровских спектров.
21. Устройство оборудования для масс-спектрометрии вторичных ионов.
22. Масс-спектрометрия вторичных нейтральных частиц.
23. Принципы определения поверхностного состава массивных мишеней и тонких поверхностных пленок с помощью обратного резерфордовского рассеяния.
24. Использование явлений резонансного возбуждения ядерных реакций и реакций, возбуждаемых тепловыми нейтронами, для реконструкции глубинных профилей распределения примесей.
25. Влияние эффектов рассеяния электронов и вторичной рентгенофлуоресценции на пространственное разрешение метода электронного микрозонда.
26. Возможности количественного анализа с помощью оже-электронной спектроскопии.
27. Сечение фотоэффекта и количественный анализ с использованием метода РФЭС.
28. Примеры использования метода РФЭС в химии.
29. Примеры использования EXAFS-спектроскопии.
30. Совмещение электронной микроскопии с другими методами исследования поверхности твердого тела.
31. Проявления атомно-силовых явлений в СТМ.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Общая характеристика и классификация физических методов исследования, их возможности и области применения. Методы *in situ* и *ex situ*. Взаимная комплиментарность различных методов.
2. Устройство масс-спектрометра (системы напуска, ионизации, ускорения и магнитной сепарации). Разрешающая сила масс-спектрометров.
3. Основные факторы, влияющие на формирование масс-спектра (потенциалы появления, характер фрагментации, сопровождающие фрагментацию перегруппировки, возможность выделения стабильных молекул, изотопный состав исходной молекулы).
4. Применение масс-спектрометрии.
5. Хромато-масс-спектрометры.
6. Особенности поглощения ИК-излучения. Модель гармонического осциллятора. Характеристические частоты. Нормальные координаты и нормальные колебания.
7. Общее число колебаний в случае многоатомной молекулы. Валентные и деформационные колебания. Колебания в молекуле воды. Валентные и деформационные колебания в случае метильной и метиленовой групп.
8. Связь между ИК-спектром и строением молекул.
9. ИК-спектры предельных углеводов, сопряженных углеводов, ароматических углеводов, гидроксилсодержащих соединений, соединений, содержащих карбоксильную группу.
10. Влияние взаимодействия между различными функциональными группами, влияние растворителя на положение линий в ИК спектре.
11. ИК-спектроскопия неорганических соединений: двухатомные, трехатомные линейные, трехатомные изогнутые и четырехатомные пирамидальные молекулы.
12. Метод НПВО.
13. Основные принципы КР-спектроскопии.
14. Устройство спектрометра комбинационного рассеяния. Требования к образцам.
15. Расщепление уровней энергии ядер в магнитном поле.
16. Устройство спектрометра ЯМР.
17. Химические сдвиги в спектре ЯМР и их использование для идентификации химических групп.
18. Влияние спин-спинового взаимодействия на тонкую структуру спектра ЯМР.
19. Влияние условий съемки на спектр ЯМР.
20. Общие принципы расшифровки спектров ЯМР при проведении структурного анализа.
21. Исследование структуры комплексных соединений методом ЯМР.
22. Изучение быстро протекающих процессов (протонный обмен, тауомерия) методом ЯМР.

23. Объекты, исследуемые методом ЭПР. Принципы метода ЭПР, g-фактор.
24. Устройство спектрометра ЭПР. Требования к пробам. Эталоны в спектроскопии ЭПР.
25. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним или несколькими ядрами.
26. Форма линий ЭПР. Уширение линий в спектре ЭПР.
27. Спин-решеточная и спин-спиновая релаксации. Зависимость времени релаксации от быстроты молекулярного движения.
28. Теоретические основы взаимодействия ионного пучка с твердым телом.
29. Механизмы ядерного и электронного торможения. Каскадный механизм распыления. Выходы распыления и ионизации.
30. Явления нейтрализации вторичных ионов за счет резонансного туннелирования и влияние хемосорбции кислорода на выход вторичных ионов.
31. Принципы метода ВИМС.
32. Устройство оборудования для масс-спектрометрии вторичных ионов.
33. Основные факторы, определяющие структуру спектра вторичных ионов (изотопный состав мишени, образование кластеров и многозарядных ионов, образование оксо-комплексов и гидридов).
34. Масс-спектрометрия вторичных нейтральных частиц.
35. Вторично-ионная масс-спектрометрия. Избирательное распыление элементов и анализ их распределения по глубине. Изменение состава многокомпонентной мишени в процессе распыления.
36. Вторично-ионная масс-спектрометрия. Уширение концентрационных профилей в области внутренних границ раздела вследствие ионного перемешивания.
37. Принципы метода обратного резерфордовского рассеяния.
38. Форма спектра обратного резерфордовского рассеяния и особенности его структуры в случае многослойных мишеней.
39. Принципы определения поверхностного состава массивных мишеней и тонких поверхностных пленок.
40. Временная шкала спонтанных и индуцированных ядерных процессов.
41. Активационные и мгновеннорадиационные методы ядерного анализа.
42. Использование явлений резонансного возбуждения ядерных реакций и реакций, возбуждаемых тепловыми нейтронами, для реконструкции глубинных профилей распределения примесей.
43. Механизм возникновения характеристического рентгеновского излучения при зондировании поверхности твердого тела потоком электронов.
44. Правила отбора для излучательных рентгеновских переходов.
45. Варианты реализации электронно-зондового микроанализа: спектроскопия с дисперсией по энергии на основе барьерного детектора и

спектроскопия с дисперсией по длине волны с использованием дифракционного кристаллического анализатора.

46. Глубина выхода рентгеновского излучения. Тормозное излучение как фактор, определяющий предельную чувствительность электронного микрозонда.

47. Влияние эффектов рассеяния электронов и вторичной рентгенофлуоресценции на пространственное разрешение метода электронного микрозонда.

48. Энергетический спектр электронов, рассеянных поверхностью твердого тела.

49. Природа Оже-переходов и их классификация. Переходы Костера-Кронига.

50. Соотношение выходов Оже-электронов и рентгеновской флуоресценции.

51. Химические сдвиги в Оже-электронном спектре.

52. Принципы метода Оже-электронной спектроскопии. Устройство спектрометра.

53. Особенности анализа Оже-электронного спектра.

54. Получение профилей глубинного изменения концентрации с помощью Оже-спектроскопии. Возможности количественного анализа.

55. Принципы метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

56. Энергетический спектр фотоэлектронов и основные элементы его структуры.

57. Устройство спектрометра РФЭС: источники излучения, рентгеновские монохроматоры, цилиндрический зеркальный анализатор и анализатор отклоняющего типа.

58. Сдвиги энергии связи внутренних электронов в РФЭС в зависимости от химического окружения центрального атома и их аналитическое значение.

59. Природа сателлитов в фотоэлектронном спектре.

60. Влияние эффектов зарядки на фотоэлектронный спектр. Сечение фотоэффекта и количественный анализ с использованием метода РФЭС.

61. Природа растянутой тонкой структуры рентгеновского поглощения вблизи высокоэнергетического края К-полосы поглощения и содержащаяся в ней структурная информация.

62. Реконструкция функции радиального распределения для ближайших координационных сфер с использованием Фурье-преобразования EXAFS-спектра по волновому вектору.

63. Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа. Требования к туннельному зонду.

64. Топографический режим и сканирующая туннельная спектроскопия. Абсолютная калибровка масштабов трехмерного СТМ-изображения.

65. Особенности СТМ-исследования модельных углеродных поверхностей, поверхности металлов, металлических кластеров и малых частиц, процессов адсорбции.

66. СТМ-исследование реальных поверхностей в контакте с водными растворами, сканирующая туннельная микроскопия адатомных слоев и начальных стадий электроосаждения металлов.

67. Атомно-силовая микроскопия: устройство микроскопов, требования к образцу. Фрикционные измерения.

68. Проявления атомно-силовых явлений в СТМ. Микроскопия ближней зоны.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой неорганической химии
д.х.н, профессор
член-корреспондент НАН Беларуси



Д.В.Свиридов

06.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
